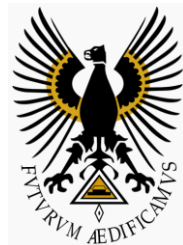


**PAUTAS PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DE LA CABEZA DE UN ANCLAJE
PERMANENTE Y ACTIVO**

DIANA ROCÍO GARCÍA GALVIS



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE POSGRADOS

TUNJA

2020

**PAUTAS PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DE LA CABEZA DE UN ANCLAJE
PERMANENTE Y ACTIVO**

DIANA ROCÍO GARCÍA GALVIS

**Trabajo de grado, presentado para optar el título de
ESPECIALISTA EN GESTIÓN DE INTEGRIDAD Y CORROSIÓN**

Dirigido por:

Ing. PhD. José Aníbal Serna Gil



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE POSGRADOS

TUNJA

2020

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja 11/06/2020

“La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería, reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado”

DEDICATORIA

A Dios quien hace todo posible.

A mi familia que siempre ha estado conmigo alentándome a ser mejor persona y profesional.

A los docentes quienes me han instruido y transferido el conocimiento en esta nueva etapa de mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi familia, mis padres, tías y hermanas por sus oraciones y cada buen gesto que tuvieron conmigo para hacer una realidad esta nueva meta, por acompañarme durante el proceso y sentirse felices de mis logros.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 Formulación del problema.....	12
1.2 Descripción del problema.....	12
2 JUSTIFICACIÓN	13
3 objetivos.....	14
3.1 Objetivo General	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
4 CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA.....	15
4.1 Generalidades.....	15
4.2 Tipos de anclajes	15
4.3 Componentes básicos de un anclaje activo o postensado.....	17
4.3.1 Zona o bulbo de anclaje.....	17
4.3.2 Zona libre.....	17
4.3.3 Cabeza	17
4.4 Materiales constituyentes de los anclajes	18
4.4.1 Aceros.....	18
4.4.2 Lechadas de cemento.....	21
4.5 Corrosión	22
4.5.1 Tipos de corrosión	22
4.6 Importancia de la corrosión.....	25
4.7 Sistemas y materiales de protección contra la corrosión	25
4.7.1 Materiales de protección.....	29
5 CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO.....	32
5.1 Tipo de investigación	32
5.2 Diseño de la investigación	32
5.3 Procedimiento	32
6 CAPITULO III: DESARROLLO DE LA MONOGRAFÍA.....	34
6.1 Tipos de corrosión en cabeza de anclaje, causas y mitigación.....	34
6.1.1 Corrosión por cloruros	34

6.1.2	Fisuración por corrosión bajo tensión estimulada por hidrógeno	35
6.1.3	Agrietamiento por corrosión bajo tensión.....	35
6.1.4	Corrosión por picadura o pitting.....	36
6.1.5	Corrosión galvanizada	36
6.1.6	Corrosión por ataque químico directo	37
6.2	Sistemas de protección contra la corrosión para cabezas de anclajes permanentes.....	37
6.2.1	Protección para las caperuzas.....	37
6.2.2	Protección para la tuerca hexagonal y las placas.....	38
6.2.3	Protección para dispositivos de estanqueidad.....	38
6.2.4	Protección para tornillos y arandelas	39
6.2.5	Protección para cuñas	39
6.3	Selección del sistema de recubrimiento.....	39
6.3.1	Identificar los entornos de servicio o exposición.....	40
6.4	Requerimientos de los sistemas de protección contra la corrosión.....	42
6.5	Parámetros a tener en cuenta antes de la aplicación del recubrimiento	42
6.6	Norma SSPC y NTC para preparación de superficies y aplicación de recubrimientos	43
6.7	Inspección y mantenimiento de cabezas de anclajes	43
6.7.1	El mantenimiento de los anclajes	43
6.7.2	Inspecciones periódicas.....	45
6.7.3	Juzgar la necesidad de una investigación de integridad.....	47
7	CONCLUSIONES	50
8	RECOMENDACIONES	51

RESUMEN

Observando los anclajes de acero y específicamente la cabeza de los anclajes permanentes de tipo activo que se vienen usando a lo largo de los últimos años para la estabilización de taludes, es evidente que el fenómeno de corrosión ha generado dificultades, pues, aunque los anclajes proveen una fuerza para resistir aquellas que producen la inestabilidad del talud, se debe garantizar la protección contra este fenómeno para garantizar la larga vida de los anclajes especialmente en casos en los que suelos y rocas contienen cloruros, exposición a corrientes eléctricas que generan acción galvánica, paso a través de suelos de características químicas diferentes, arcillas saturadas con alto contenido de sulfatos, entre otros.¹

Por esta razón se pretenden establecer pautas para complementar los procedimientos existentes para la protección anticorrosiva de las cabezas de los anclajes, dado que, estos se encuentran en la parte exterior y requieren de un especial cuidado. Todo esto es fundamental pues la vida útil de un anclaje está condicionada a los efectos de la corrosión. Un anclaje que tenga un sistema pobre contra la corrosión por ende tendrá una corta duración.

Estas pautas permitirán dar cumplimiento a los proyectos no sólo en términos de durabilidad sino de calidad, garantizando de esta manera los recursos de inversión previstos, pues, si se genera algún daño en cualquier elemento del anclaje se ocasionarán adiciones en los presupuestos y gastos administrativos que son representativos en cualquier proyecto de gran magnitud.

¹ SUAREZ, Jaime. Deslizamiento: Técnicas de remediación. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009. p. 153.

INTRODUCCIÓN

Realizando una observación de obras civiles que se han ejecutado para la estabilización de taludes en los últimos años en Colombia, encontramos que la mayoría de ellas ha recurrido al uso de anclajes permanentes, dado que, estos proporcionan una fuerza para resistir aquellas que producen la inestabilidad del talud. Además de proveer esta fuerza son capaces de sostener y reforzar no sólo la masa del suelo o roca meteorizadas sino también diaclasas que por su baja capacidad portantes presentan gran tendencia a la falla. Estos anclajes generan un aumento en las tensiones normales sobre la superficie potencial de rotura y por consiguiente un incremento en la resistencia al esfuerzo cortante del terreno.

Así como es muy recurrente que en cualquier vía del país en la que se hayan estabilizado taludes se observen estos anclajes, así mismo, es recurrente observar la corrosión que se presenta en su parte más externa (cabeza de anclaje), la cual dependiendo de su severidad puede derivar en daños permanentes de los mismos además de generar un impacto visual negativo por el aspecto de estos elementos sobre las zapatas de apoyo.

Para mitigar de alguna manera este problema es necesario fortalecer el conocimiento existente de los procedimientos que se ejecutan para implementar sistemas de protección anticorrosivos, con el objetivo de rectificar la mayoría de los inconvenientes generados como resultado de la acción corrosiva del medio ambiente donde estos se sitúan. Estos inconvenientes pueden ser tiempos extras en la ejecución de obras que sirvan para el amortiguamiento de estas complicaciones y sobrecostos que responden a adicionales en los presupuestos previstos para los proyectos.

El fin último de este documento es hacer un aporte a profesionales del área de Corrosión e Ingeniería Civil que estén involucrados con obras de estabilización en las que se empleen anclajes permanentes y activos, además brindar herramientas a las empresas que se desarrollan en este medio, para que puedan ejecutar sistemas eficaces contra la corrosión en las cabezas de anclajes.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los anclajes a tierra están diseñados para prevenir deslizamientos de tierra al resistir las fuerzas de la pendiente que causan deformación. Se han venido utilizado ampliamente en proyectos de ingeniería de taludes debido a su enfoque preventivo contrario a otros sistemas como clavos o pernos sujetos del suelo los cuales se usan generalmente para fines de remediación después de que se ha dado inicio a la deformación. No obstante, el éxito de estos anclajes dependerá de la calidad del diseño, construcción y de los sistemas de protección contra la corrosión que se apliquen, de no ser así, un diseño inadecuado, conducirá a la falla de la pendiente.

Uno de los mecanismos de falla más comunes de estos anclajes es el de la corrosión, por tal motivo a través de los años se ha venido trabajando en ello, buscando minimizar el impacto de este fenómeno en la integridad y por ende la funcionalidad de este tipo de estructuras.

Los últimos avances tecnológicos en este tema tuvieron origen en Europa con el desarrollo e implementación de una técnica denominada “doble protección”²; la cual indica que la longitud fija del tendón debe estar encerrada en una funda de polietileno corrugado, la cual, luego se llenará con lechada de cemento. Además, describe que los hilos individuales en la longitud libre estarán recubiertos con grasa resistente a la corrosión y colocados en una funda de plástico. El objetivo de esta técnica como su nombre lo indica es brindarle al anclaje una doble protección, bajo la presunción de que, en caso de que falle una barrera de protección contra la corrosión, la otra barrera de protección contra la corrosión sigue siendo efectiva.

En Colombia para anclajes permanentes de tipo activo se ha venido utilizando la protección contra la corrosión tipo I en su mayoría. Los métodos de protección contra la corrosión incluyen el galvanizado, aplicación de cubiertas, epóxicos, encapsulación del acero y el cemento.

Si se realiza un sondeo general de los anclajes que están instalados en los taludes adyacentes a las vías de nuestro país, se vislumbra un problema generalizado en la cabeza de estas estructuras, lo que nos indica que los sistemas de protección contra la corrosión en esta zona están fallando por alguna razón. Debe tenerse en cuenta que la mayoría de los problemas de corrosión ocurren en los dos metros más cercanos a la cabeza del ancla y en esta última.

² LITTLEJOHN (ED.). Ground anchorages and anchored structures, Proceedings of the International Conference. London, 1997. p. 13-22.

1.1 Formulación del problema

¿Qué factores están afectando la integridad de las cabezas de los anclajes permanentes y porqué a pesar del uso de recubrimientos, grasas y caperuzas de protección el fenómeno de la corrosión sigue estando presente en estas zonas de la estructura?

1.2 Descripción del problema

Usualmente para la estabilización de taludes en las vías del país, se emplean anclajes para sujetar las pendientes de manera definitiva. Ejecutar este mecanismo no es una tarea fácil ya que generalmente los macizos rocosos presentan condiciones extremadamente difíciles.

Tomando en cuenta estos aspectos, para el Ingeniero de la obra además de mantener la estabilidad, es de vital importancia, garantizar la vida útil de los anclajes, razón por la cual debe garantizar que estas estructuras cuenten con un sistema anticorrosivo que sea efectivo, es decir, que asegure la protección del acero por varias décadas.

Si bien se han venido utilizando tales sistemas, en este tipo de estructuras las fallas en la zona más externa del anclaje son evidentes en la mayoría de las obras del territorio colombiano. En este punto se debe entrar a analizar cuáles son los factores que están afectando negativamente la integridad de esta zona de los anclajes, pues, a pesar de usar anticorrosivos resistentes a los agentes químicos, a los ácidos orgánicos, y a los niveles de agresividad del suelo, la corrosión en la cabeza de anclaje, sigue estando presente.

2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el mecanismo más utilizado en el país para la estabilización de taludes es el de los anclajes permanentes, estos se instalan con carácter de acción definitiva. Por esta razón es muy importante dimensionar de manera correcta los coeficientes de seguridad, así como el sistema que hará frente a los efectos de la corrosión. Para ello en esta monografía se establecerán una serie de pautas que contribuyan al mejoramiento de estos sistemas anticorrosivos, de tal modo que, se garantice la vida de servicio de estos anclajes.

Es fundamental implementar y ejecutar sistemas anticorrosivos efectivos para la cabeza de los anclajes, pues una vez que la cabeza de anclaje está corroída, es muy difícil proteger las cuñas y los tendones. Si esto llegase a ocurrir tendríamos corrosión a lo largo de todo el anclaje, situación que afectaría gravemente la integridad y funcionalidad del mismo. Esto se debe corregir o mitigar, ya que, genera tiempos extras para la ejecución de acciones para la remediación y costos adicionales para los proyectos, lo cual es crítico pues éstos se ejecutan usualmente con dineros del estado, para el cual resulta complejo y poco maleable adicionar tiempo y dinero.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que las fallas en las laderas pueden ocurrir no sólo por infiltración de agua subterránea que termina en el ablandamiento de la delgada capa intermedia entre arenisca y lutita sino además por la corrosión del anclaje lo que resultaría en una disminución en la estabilidad de la pendiente. Juntos, estos dos factores pueden hacer que las pendientes alcancen un límite crítico, lo que se traduciría en un colapso. Lo cual sería gravísimo pues esto acarrearía deslizamientos de miles de metros cúbicos de tierra y roca los cuales terminarían sobre las vías, ocasionando atrapamientos de personas y hasta su muerte.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Identificar los factores que están afectando la integridad de las cabezas de los anclajes permanentes, de tal manera que se puedan establecer una serie de pautas que contribuyan al establecimiento de un sistema de protección anticorrosivo efectivo que garantice la vida útil de los anclajes.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de casos en que las cabezas de los anclajes permanentes hayan fallado por corrosión para establecer comparativos.
- Describir los tipos de corrosión presentes en los diferentes componentes de una cabeza de anclaje, así como sus causas y mitigación.
- Revisar cuáles son las variables que están impidiendo que los sistemas anticorrosivos cumplan con su función en la cabeza de anclajes permanentes.
- Hacer una descripción de los parámetros que se deben tener en cuenta antes de ejecutar un sistema de protección anticorrosivo en la cabeza de los anclajes.
- Presentar recomendaciones para la implementación y ejecución de los sistemas de protección contra la corrosión en las cabezas de anclajes.

4 CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA

4.1 Generalidades

Un anclaje es un elemento que transmite esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona interior del mismo. Sus componentes básicos son: cabeza, zona libre y bulbo o zona de anclaje (Figura 1).³

4.2 Tipos de anclajes

Los anclajes se pueden clasificar según el nivel de carga inicial que se les aplica, pueden ser activos o pasivos. A los primeros se le somete a una carga de tesado, posterior a su ejecución, usualmente del mismo orden de magnitud que la máxima prevista durante el proyecto, y nunca inferior al 50% de esta última, mientras que a los anclajes pasivos se les deja con una carga inicial baja, aunque nunca inferior al 10% de la máxima de proyecto, esta carga se adquiere normalmente por los movimientos de la estructura.⁴

Además, en función de los elementos constituyentes de los tirantes, se catalogan como anclajes de cables o anclajes de barra.⁵

Otra clasificación que debe hacerse es atendiendo a su vida útil, así, se denomina anclaje permanente al proyectado para una vida superior a los dos años, y anclaje provisional al que debe actuar durante un periodo inferior a esos dos años, o menor en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos. En la figura 2.2 se incluye el croquis en detalle de la cabeza de un anclaje permanente.⁶

En cuanto a la capacidad de ejecutar operaciones que varíen la carga sobre los anclajes durante su vida útil, se clasifican en retesables y no retesables.

A continuación, una descripción individualizada de los tipos de anclaje anteriormente mencionados:

Anclaje activo: Anclaje sometido a una carga de tesado, posterior a su ejecución, no inferior al 50% de la máxima prevista en proyecto.⁷

3 DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. España, 2001. p. 11.

4 Ibid., p. 11.

5 Ibid., p. 11.

6 Ibid., p. 11.

7 Ibid., p. 11.

Anclaje pasivo: Un anclaje sometido a una carga inicial baja, normalmente comprendida entre el 10 y el 25% de la máxima prevista en proyecto para el mismo.⁸

Anclaje permanente: Anclaje cuya vida útil se considera superior a dos años.⁹

Anclaje provisional o temporal: Anclaje cuya vida útil no es superior a dos años. En caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos (p. e. ambiente marino, terrenos yesíferos, terrenos con sal gema, terrenos contaminados con queroseno o pesticidas, etc.) este periodo deberá ser reducido, de acuerdo con lo establecido en proyecto.¹⁰

Anclaje retesable: Un anclaje que permite operaciones que varíen su carga durante su vida útil.¹¹

Anclaje no retesable: Un anclaje que no permite operaciones que varíen su carga.¹²

Otra clasificación posible, es la que se hace, según se efectúe o no la reinyección del bulbo, como: de inyección única global (IU), de inyección repetitiva (IR) o de inyección repetitiva y selectiva (IRS).

Tabla 1. Clasificación de anclajes según su inyección

Vida útil y tipo de inyección	Tirante de cables	Tirante de barra
Provisional Con inyección única global (IU)	Tipo 1	Tipo 5
Provisional con inyección repetitiva (IR)	Tipo 2 ^a	Tipo 6A
Provisional con inyección repetitiva y selectiva (IRS)	Tipo 2B	Tipo 6B
Provisional con inyección única global (IU)	Tipo 3	Tipo 7
Permanente con inyección repetitiva (IR)	Tipo 4 ^a	Tipo 8A
Permanente con inyección repetitiva y selectiva (IRS)	Tipo 4B	Tipo 8B

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. 2ed. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, 2003.

8 MINISTERIO DE FOMENTO. Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. España, 2003. p. 8.

9 Ibid., p. 8.

10 Ibid., p. 8.

11 Ibid., p. 8.

12 Ibid., p. 8.

4.3 Componentes básicos de un anclaje activo o postensado

Un anclaje postensado comprende los siguientes componentes principales:

4.3.1 Zona o bulbo de anclaje

Es la parte solidaria al terreno en profundidad, encargada de transferirle los esfuerzos. Tiene características muy distintas dependiendo del procedimiento constructivo empleado. Teóricamente se trataría de una parte fija, es decir, que no se movería ni durante el tesado ni durante la movilización del empuje activo. En la práctica se puede mover algo, pero no debe despegarse del terreno, pues entonces desaparecería la capacidad del anclaje.¹³

4.3.2 Zona libre

Es la parte en la que la armadura es independiente del terreno que la rodea, de forma que está libre su deformación al tensionarse. En efecto, la capacidad de deformación de esta zona libre es la que provoca la progresiva puesta en carga del anclaje. Conviene una longitud mínima de unos 5 m para que el esfuerzo aplicado se vea poco afectado por los posibles desplazamientos de la cabeza respecto a la zona de anclaje al terreno. Puede garantizarse la independencia del anclaje respecto al terreno en esta zona mediante camisas de PVC o metálicas. Sin embargo, debe garantizarse su protección contra la corrosión.¹⁴

4.3.3 Cabeza

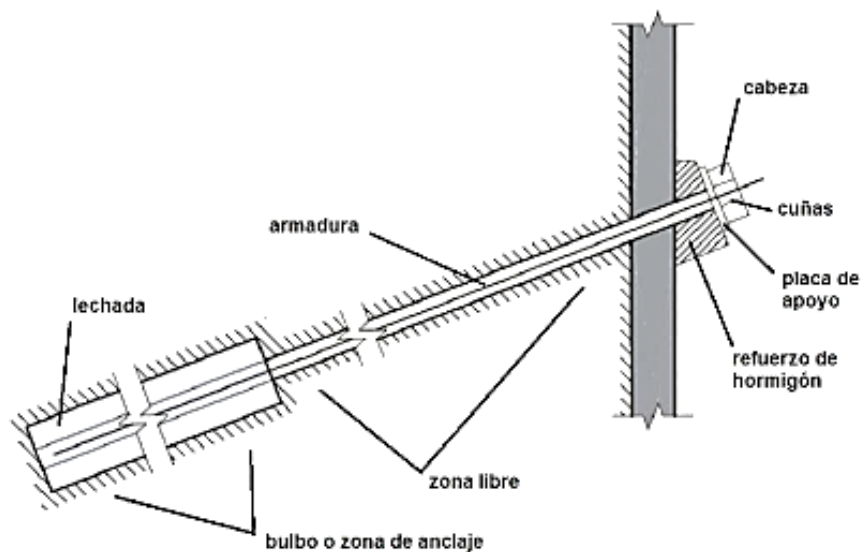
Es la unión de la armadura a la placa de apoyo, sobre la que se ejerce la fuerza estabilizadora sobre la estructura. Esta parte externa del anclaje es capaz de transmitir la carga del tirante a la superficie del terreno o a la estructura a anclar. Esta zona se compone a su vez normalmente de: placa de reparto, cuñas o tuercas, portacuñas y protección. Incluye la transición a la zona libre (Ilustración 2).¹⁵

¹³ YEPES, Víctor "Zonas de un anclaje". {En línea}. { 26 marzo de 2019} disponible en: (<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/26/zonas-de-un-anclaje/>).

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

Ilustración 1 Componentes de un anclaje activo



- **Fuente:** YEPES, Víctor. Zonas de un anclaje. [En línea], 26 marzo de 2019, Disponible en: [\[https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/26/zonas-de-un-anclaje/\]](https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/26/zonas-de-un-anclaje/)

4.4 Materiales constituyentes de los anclajes

Los materiales que constituyen un anclaje son adecuados si cumplen la normatividad obligatoria relativa a cada uno de ellos, además, los requisitos que se citan en los siguientes apartados.

No se emplearán piezas correspondientes a sistemas de ejecución diferentes (patentados por diferentes empresas) en tramos homogéneos de estructura, ni tampoco aquellas que no tengan garantizada su inalterabilidad durante la vida útil de las obras.¹⁶

4.4.1 Aceros

4.4.1.1 Acero de preesfuerzo

El acero de preesfuerzo podrá consistir de cables de acero de alta resistencia de siete alambres, alambre de acero de alta resistencia, o barras de alta resistencia del tipo y grado especificados en los planos o en las especificaciones que se mencionan a continuación.¹⁷

¹⁶ DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Op. cit., p. 17.

¹⁷ NORMA INVIAS, I. N. Especificaciones para el acero de preesfuerzo, INV. artículo 641- 07, 2013. p. 1- 4.

4.4.1.2 Cables

Los cables de siete alambres sin revestimiento deberán cumplir lo especificado en la norma AASHTO M-203, NTC 2010 o ASTM A-416.¹⁸

4.4.1.3 Alambres

Los alambres de acero sin recubrimiento deberán cumplir los requisitos de la norma AASHTO M204, NTC 159 o ASTM A-421.¹⁹

4.4.1.4 Barras

Las barras de alta resistencia sin recubrimiento deberán cumplir los requisitos de la norma AASHTO M-275, NTC 2142 o ASTM A-722. Se podrán usar barras con resistencia última mayor a la especificada en las normas anteriores, siempre y cuando se demuestre que poseen propiedades superiores a las especificadas. Todo cable, alambre o barra que se envíe al sitio deberá tener un número de envío para efectos de identificación. Los anclajes deberán identificarse de igual manera. Cada lote de alambre o barras y cada rollo de cable deberá estar acompañado de un certificado de fábrica que incluya características técnicas, composición química, sección transversal, esfuerzos de fluencia y último, elongación a la rotura, módulo de elasticidad, y curva esfuerzo deformación del acero que se pretende utilizar. La resistencia real del acero de preesfuerzo no deberá ser menor que la especificada en la norma aplicable, y las pruebas se deberán realizar según los procedimientos de dicha norma. Instituto Nacional de Vías Artículo 641-07 2 641.2.2 Anclajes y acoples.²⁰

4.4.1.5 Anclajes y acoples

Todos los anclajes y acoples deberán desarrollar al menos el noventa y cinco por ciento (95%) de resistencia última especificada para el acero de preesfuerzo, al ser probados antes de ser adheridos, sin exceder el asentamiento del anclaje esperado. Los acoples de tendones no deberán reducir la elongación de rotura por debajo de los requisitos del tendón mismo. Los acoples o sus componentes deberán estar encerrados en camisas que permitan los movimientos necesarios. Los acoples sólo se podrán utilizar en los sitios mostrados en los planos o aprobados por el Interventor. No se podrán utilizar en sitios donde se presenten fuertes curvaturas. Los dispositivos de anclaje para cables no adheridos, deberán ser capaces de transmitir al concreto una carga igual a la capacidad del cable bajo las condiciones de carga estática y cíclica. Cualquier refuerzo suplementario requerido en la zona local del anclaje, para resistir concentraciones de esfuerzos en la vecindad del anclaje, que sea dependiente de la configuración del anclaje, debe ser considerado

¹⁸ Ibid., p. 1-4.

¹⁹ Ibid., p. 1-4.

²⁰ Ibid., p. 1-4.

parte integrante del anclaje. Dicho refuerzo deberá ser diseñado por el suministrador del anclaje, y colocado adicionalmente al refuerzo general de la zona que se muestre en los planos.²¹

4.4.1.6

La cabeza del anclaje debe permitir tesar el tirante hasta la carga de prueba, o carga inicial. Deberá asimismo ser capaz de absorber el 100% de la tracción correspondiente al límite de rotura del acero. Cuando esté previsto en el proyecto, permitirá un destesado y un posterior tesado del anclaje, así como, en su caso, la inclusión de células de medida de tensión de anclaje.

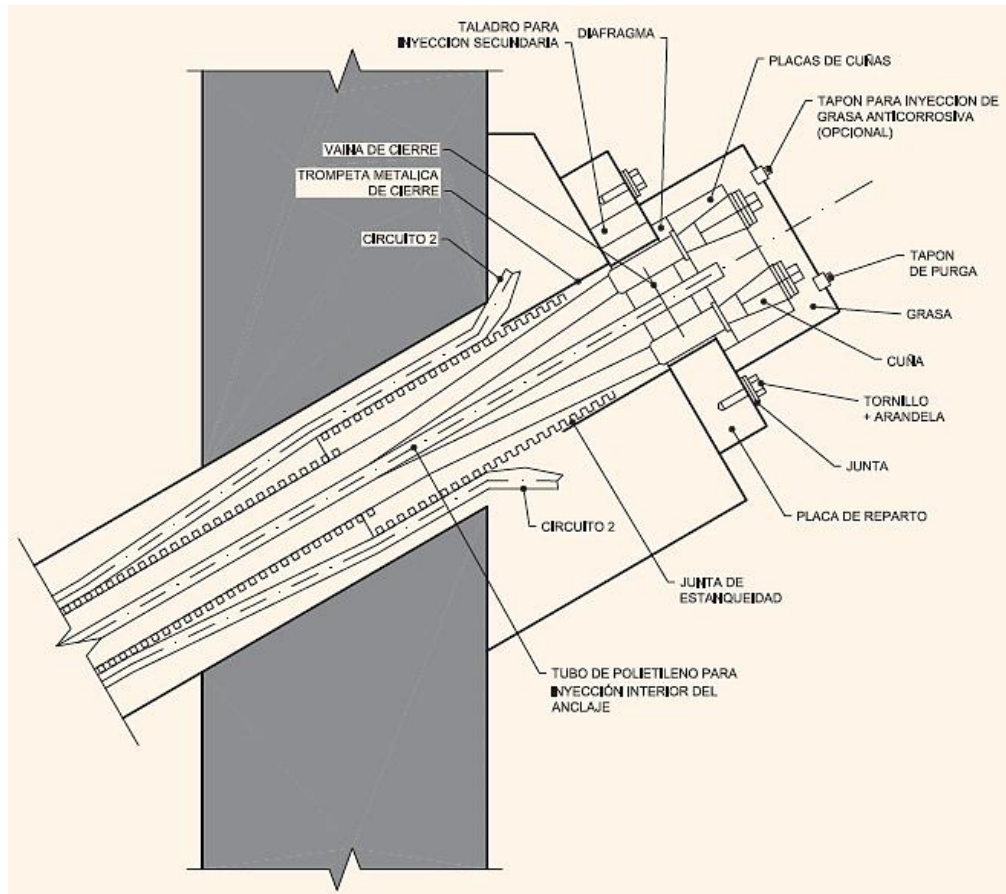
Deberán admitirse desviaciones angulares del tirante, respecto a una dirección normal a la cabeza, de hasta tres grados sexagesimales (3°) a una carga del 97% del límite elástico del tirante.

Además, se dispondrán los elementos necesarios para transmitir la carga del tirante a la estructura.²²

²¹ Ibid., p. 1-4.

²² DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Op. cit., p. 17.

Ilustración 2 Componentes de la cabeza de un anclaje permanente



Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. 2ed. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, 2003.

4.4.2 Lechadas de cemento

Las lechadas de cemento empleadas en la protección anticorrosión en contacto con las armaduras, deberán tener una dosificación agua/cemento (a/c) no mayor a 0,4 para limitar el agua libre.

Las lechadas usadas en la formación del bulbo, dependiendo de las características del terreno, se dosificarán con una relación agua/cemento (a/c) comprendida entre 0,4 y 0,6, salvo indicación contraria del director del proyecto.

El cemento será resistente a la presencia de sustancias agresivas en el terreno por ejemplo sulfatos.

Son de aplicación la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos RC, la EHE y el PG-3. Previa autorización del director del proyecto, y siempre que no sean

daños al tirante y a la inyección, se podrán utilizar aditivos para aumentar la manejabilidad y compacidad de la lechada, para reducir el agua libre y la retracción y para acelerar el fraguado. No deben contener más de un 0,1% en peso de cloruros, sulfatos o nitratos.

Si fuera necesario, y para limitar las pérdidas en la perforación, se podrá incorporar arena a las lechadas de cemento. En este caso debe ensayarse previamente la mezcla para estudiar su inyectabilidad. *Guía para el diseño y mantenimiento de anclajes.²³

4.5 Corrosión

La corrosión se define como la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su ambiente que produce un deterioro del material y sus propiedades (ASTM G15). El proceso de corrosión puede ser muy complejo y existen muchos factores contribuyentes que conducen a resultados destructivos inmediatos o graduales. En el diseño de anclajes y fijadores, los tipos de corrosión más comunes son el ataque químico directo y el contacto electroquímico.

4.5.1 Tipos de corrosión

4.5.1.1 Ataque químico directo

La corrosión por ataque químico directo se da cuando el material base es soluble en un medio corrosivo. Una forma de mitigar estos efectos es seleccionar un anclaje que no sea susceptible al ataque por el químico corrosivo.

Cuando no sea viable o económico seleccionar un metal base compatible con el medio corrosivo, otra solución es recubrirlo con un material que sea resistente al medio corrosivo. Esto puede incluir recubrimientos metálicos, tales como zinc, o recubrimientos orgánicos, tales como poliepóxidos o fluorocarburos.²⁴

4.5.1.2 Corrosión por contacto electroquímico

Todos los metales tienen un potencial eléctrico relativo entre ellos, y se clasifican en las series galvánicas de metales y aleaciones. Cuando metales de diferente potencial se ponen en contacto en presencia de un electrolito (humedad), el metal con mayor potencial negativo se convierte en el ánodo y corroe, mientras que el otro se convierte en el cátodo y está protegido galvánicamente.

La severidad e importancia del ataque están influenciados por:

²³ DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Op. cit., p. 18.

²⁴ HILTI. Manual técnico de anclaje. 2016. P. 14.

- a) La posición relativa de los metales en contacto en la serie galvánica.
- b) Las áreas superficiales relativas de los materiales en contacto.
- c) La conductividad del electrolito

Los efectos de la corrosión por contacto electroquímico pueden mitigarse al:

- a) Usar metales similares que estén cerca o juntos en la serie de esfuerzos electromotrices.
- b) Separar los metales no similares con empaquetaduras, arandelas plásticas o pintura con baja conductividad eléctrica. Los materiales que típicamente se utilizan para estas aplicaciones son:
 1. Polietileno de alta densidad (HDPE)
 2. Politetrafluoroetileno (PTFE)
 3. Policarbonatos
 4. Neopreno / cloropreno
 5. Compuestos para galvanización en frío
 6. Recubrimientos o pintura bituminosos

Cabe resaltar que los especificadores deben garantizar que estos materiales son compatibles con otros componentes del anclaje en el ambiente de servicio.

- c) Elegir materiales de tal manera que el fijador actúe como cátodo, el componente más noble o protegido.
- d) Agregar un drenaje o agujeros de desagüe para evitar que el electrolito quede atrapado.²⁵

4.5.1.3 Fisuración por corrosión bajo tensión estimulada por hidrógeno

La fisuración por corrosión bajo tensión estimulada por hidrógeno (HASCC), es un mecanismo de falla inducido por el ambiente que en ocasiones se retrasa y en la mayoría de los casos ocurre de imprevisto. La HASCC se da cuando un fijador de acero endurecido se tensiona (carga) en un ambiente de servicio que genera hidrógeno químicamente (como cuando el zinc y el hierro se combinan en presencia de humedad). El potencial para la HASCC está directamente relacionado a la dureza del acero. A mayor dureza del fijador, mayor es la susceptibilidad a fallas de fisuración por corrosión bajo tensión. Al eliminar o reducir cualquiera de estos factores contribuyentes (alta dureza del acero, corrosión o tensión), se reduce el potencial general para este tipo de falla. Por otra parte, la fragilización por hidrógeno hace referencia a un potencial daño como efecto secundario del proceso de fabricación del fijador de acero, y no está relacionado con la corrosión en el sitio del proyecto.

²⁵ Ibid., p. 14.

La fragilización por hidrógeno puede neutralizarse mediante un proceso adecuado durante las operaciones de decapado, limpieza y revestimiento (específicamente, al “hornear” los fijadores después de aplicar el recubrimiento galvanizado).²⁶

- **Protección ante la corrosión**

El material más comúnmente empleado para proteger de la corrosión a los fijadores de acero al carbón es el zinc. Los recubrimientos de zinc pueden aplicarse uniformemente por diferentes métodos para lograr una gran variedad de espesores en el recubrimiento dependiendo del uso. Los recubrimientos de mayor espesor proporcionan mayores niveles de protección.

Los recubrimientos de zinc pueden aplicarse a los anclajes por medio de diferentes métodos. Estos incluyen (en orden de espesor del recubrimiento y protección ante la corrosión ascendente):

- a) ASTM B633 – Especificación Estándar para Recubrimientos Electrodepositados de Zinc en Hierro y Acero.
- b) ASTM B695 – Especificación Estándar para Recubrimientos de Zinc depositados mecánicamente en Hierro y Acero.
- c) ASTM B153 – Especificación Estándar para Recubrimientos de Zinc (inmersión en caliente) en Herrajes de Hierro y Acero.
- d) Proceso de Zincado – Proceso de Recubrimiento con Zinc controlado por Difusión.²⁷

Tabla 2. Tasa de corrosión promedio según su atmósfera

Atmósfera	Tasa de corrosión promedio
Industrial	5.6 µm/año
Urbana no industrial o marina	1.5 µm/año
Suburbana	1.3
Rural	0.8
Interiores	Considerablemente menor a 0.5 µm/año

Fuente: ASTM B633 Apéndice XI. Vida útil del zinc

²⁶ Ibid., p. 15.

²⁷ Ibid., p. 15.

4.6 Importancia de la corrosión

En términos económicos se estima que aproximadamente el 5% del producto interno bruto (PIB) de un país industrializado se gasta directa e indirectamente en prevenir y corregir problemas relacionados con la corrosión metálica.

Las pérdidas económicas resultantes del fenómeno de la corrosión , se dividen en directas e indirectas:

Pérdidas directas:

- Costes de mantenimiento
- Costes de reposición (material, transporte y mano de obra)
- Costes por averías imprevistas
- Costes directos por daños accidentales

Las pérdidas indirectas ocasionadas por la corrosión son más difíciles de evaluar, no obstante, algunas de las circunstancias más comunes que pueden acarrear este tipo de pérdidas son:

- Pérdidas de producto
- Interrupciones en la producción
- Pérdidas de rendimiento
- Contaminación de productos

Si el factor a considerar es el de la seguridad, lo daños que puede ocasionar la corrosión escapan a cualquier cálculo.

4.7 Sistemas y materiales de protección contra la corrosión

Todos los elementos de acero sometidos a tracción estarán protegidos contra la corrosión durante toda su vida útil. Este periodo determina la clase de protección:

- Menos de dos años, o un periodo inferior en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos: anclajes provisionales.
- Más de dos años: anclajes permanentes.²⁸

En los **anclajes provisionales** sólo se aceptan los tipos de protección contra la corrosión de los tirantes, y de otros elementos, indicados en la tabla 3.

28 DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Op. cit., p. 18.

Tabla 3. Protección anticorrosión de anclajes provisionales

Zona del anclaje	Sistemas de protección	
Zona de bulbo	Tirante cubierto de lechada de cemento con 10mm de recubrimiento.	
Zona Libre	Seleccionar uno de los tres.	Cada tendón, o la barra, protegidos con una vaina de plástico terminada en junta estancada.
		Cada tendón, o la barra, rodeado de una vaina de plástico rellena de material anticorrosión.
		Todos los tendones dentro de un tubo de plástico relleno de material anticorrosión.
Enlace entre cabeza y zona libre	Un tubo de plástico solidario a la placa que recubre el tubo o vainas de la zona libre.	
Cabeza	Revestimiento no fluido compuesto por productos anticorrosión (con o sin caperuza metálica o de plástico, no debe afectar los elementos de bloqueo. En caso de existir riesgo por agresiones mecánicas se recomienda proteger la cabeza con caperuza metálica o de plástico.	

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. 2ed. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, 2003.

En los **anclajes permanentes** la protección deberá garantizar una barrera continua de material anticorrosión entre el terreno y el tirante, de modo que éste no se deteriore durante el periodo previsto de utilización del anclaje. Las protecciones, para este caso, serán las dadas en la tabla 4.²⁹

Tabla 4. Protección anticorrosión de anclajes permanentes

Zona de anclaje	Sistemas de protección	
Zona de bulbo	Uno de entre los que se citan:	Un tubo corrugado de plástico conteniendo el tirante, con vaina estanca entre la lechada de cemento que protege el tirante y la inyección de bulbo. El espesor mínimo de lechada entre el tirante y el tubo será de 5mm.
		Un tubo corrugado de plástico conteniendo el tirante, preinyectado con lechada de cemento. El espesor mínimo de lechada entre tirante y tubo será de 5mm.
		Dos tubos concéntricos corrugados conteniendo el tirante, preinyectados, la zona central y el espacio anular, con un

²⁹ DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Op. cit., p. 19.

Zona de anclaje	Sistemas de protección	
		producto viscoso de protección o con lechada de cemento. El espesor mínimo de recubrimiento será de 5mm.
Zona libre	Uno de entre los que se citan:	Una vaina de plástico por tendón, relleno de un producto viscoso de protección. Más A, B o C de la relación siguiente.
		Una vaina de plástico por tendón, rellena de lechada de cemento. Más A o B.
		Una vaina de plástico común al tirante, rellena de lechada de cemento. Más B de la relación siguiente
		A) Un tubo de plástico común al tirante, relleno de producto viscoso anticorrosión. B) Un tubo de plástico común al tirante, con los extremos soldados y estancos a la humedad. C) Un tubo de plástico común al tirante, relleno de lechada de cemento.
Enlace entre cabeza y zona libre	Un tubo metálico, o de plástico, estanco y solidario a la placa del anclaje. Se unirá de forma estanca, o se emplearán juntas teóricas, al tubo de plástico exterior de la zona libre. Se rellenará de un producto viscoso de protección.	
Cabeza	Cabeza metálica revestida o galvanizada, de 3mm de espesor mínimo de pared, o caperuza rígida de plástico, de al menos 5mm de pared, fijada a la placa de apoyo. Se rellenará de un producto viscoso contra la corrosión y junta de estanqueidad.	

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. 2ed. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, 2003.

Los productos viscosos de protección contra la corrosión deberán cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla 5.

Tabla 5. Protección anticorrosión de anclajes provisionales

Propiedad	Unidades	Métodos de Ensayo	Valores de aceptación
Contenido en azufre libre, sulfatos y sulfuros.	ppm	ASTM D130	≤50

Propiedad	Unidades	Métodos de Ensayo	Valores de aceptación
Contenido en iones cloruros, nitrato, nitrito, tiocinato.	ppm	ASTM D612	≤50
Resistividad eléctrica	Ω.cm	DIN53483	≥10 ⁹
Absorción de agua, 0,1N KOH, después de 30 días.	%	DIN 53495	≤2
Acidez	Mg/KOH/g	ASTMD94	≤5
Desaceitado sobre papel filtro a 50°C, 24 horas. Diámetro de la mancha de aceite,	Diámetro en mm	No existe normativa, Muestra 20g en tubo abierto de 20/24mm de diámetro y 30 mm de altura.	≤5
Profundidad de penetración durante el Ensayo de desaceitado, en una lechada de cemento endurecido de un espesor de 5mm, a 50°C después de 7 días.	Mm	No existe normativa. Muestra similar a la de desaceitado.	≤2
Estabilidad térmica, 24h, número de gotas de aceite sobre el tamiz para un aumento de temperatura de 10°C, cada 2h.	°C. Aparición de gotas de aceite.	Conducto de 26*18mm, con una inclinación del 10% y con un tamiz de 0,5mm en la extremidad inferior, relleno con la muestra.	≥40
Punta de gota	°C	DIN 51801	≥60
Protección contra la oxidación. Brisa marina 5% NaCl durante 168h a 35°C.	Determinación visual	UN EN1537	Sin corrosión
Idem a 40°C	%	UN EN1537	≤5

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. 2ed. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, 2003.

4.7.1 Materiales de protección

La lechada de cemento es la única protección anticorrosión válida en la zona del bulbo para anclajes provisionales (tipos 1, 2, 5 y 6), para casos en los que el recubrimiento entre el tirante y el terreno, a lo largo de toda la longitud del anclaje, no sea menor a 10 mm. (Tabla 3).³⁰

En anclajes permanentes (tipos 3, 4, 7 y 8) que presenten doble protección, se podrá realizar la protección interior de dos barreras, usando inyección de lechada de cemento de alta dosificación (relación agua/cemento no superior a 0,4) si el recubrimiento entre el tirante y el tubo corrugado más cercano no es inferior a 5 mm y los resultados de los ensayos de resistencia eléctrica son satisfactorios (Tabla 4 y apéndice A).³¹

Como protección permanente se permitirán las inyecciones controladas de productos viscosos (que cumplan los criterios de la tabla 5), en el interior de los dos tubos corrugados de plástico del bulbo, siempre que los recubrimientos sean superiores a 5 mm, estén confinados y que no experimenten retracciones ni fisuraciones.³²

Adicionalmente se podrán emplear ceras y grasas como productos protectores contra la corrosión, si éstas no son oxidables y son resistentes a los ataques microbiológicos. Es indispensable que cumplan las características exigidas en la tabla 5.³³

En cualquier caso, para protecciones permanentes, los productos deben estar completamente sellados en un recipiente resistente, que estanque a la humedad y resista a la corrosión.

Los productos no confinados se pueden utilizar como protección provisional a condición de ser aplicados como si se tratase de una pintura.

4.7.1.1 Elementos de protección para cabeza de anclajes

Una vez concluido el anclaje se debe proceder en el plazo más breve posible al corte de las longitudes sobrantes de los tirantes y a la colocación de las protecciones de las cabezas de los anclajes de acuerdo con los sistemas indicados en las tablas 2.2 y 2.3.

³⁰DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Op. cit., p. 21.

³¹ Ibid., p. 21.

³² Ibid., p. 21.

³³ Ibid., p. 21.

Para anclajes permanentes (tipos 3, 4, 7 y 8), está permitido usar **caperuzas metálicas** como barreras de protección de la cabeza del anclaje si externamente están debidamente protegidas.

Esta protección puede llevarse a cabo con un galvanizado en caliente o por aplicación de varias capas de pintura de revestimiento. El espesor mínimo de su pared será de 3 mm.³⁴

También se podrán emplear **caperuzas de plástico** rígidas con espesores mínimos de pared de 5 mm. Su interior tendrá un relleno viscoso anticorrosivo. (Tabla 4). En los anclajes provisionales (tipos 1, 2, 5 y 6), generalmente sólo se aplica el producto anticorrosivo, como si se tratase de un recubrimiento, sobre los componentes de la cabeza.

4.7.1.2 Colocación de materiales y sistemas de protección

Los sistemas de protección no deben interferir en las operaciones de tesado o detesado, ni deteriorarse durante estas operaciones. Tampoco sufrirán daños durante su manipulación, transporte y almacenaje.

En la recepción se permitirá una ligera capa de óxido en la superficie de los tirantes, si ésta posteriormente se puede eliminar fácilmente y además con la condición que la superficie deberá ser recubierta inmediatamente con una lechada de cemento. Estarán totalmente libres de corrosión cuando sean encapsulados para realizar el sistema de protección contra la corrosión.

La protección de la zona libre de un anclaje provisional (tipos 1, 2, 5 y 6), se ejecutará en obra o en taller. La protección de la zona de bulbo de un anclaje provisional se realizará en general in situ. La protección del tirante de los anclajes permanentes debe hacerse en taller o en instalaciones construidas específicamente en la obra y estarán libres de humedad y suciedad.

En todos los tipos de anclaje la inyección de la protección empezará por el fondo del anclaje, realizándose de forma continua hasta terminar.

Si el ambiente es agresivo, se le aplicará de manera inmediata una protección a la cabeza del anclaje, tanto si es provisional como si es definitivo.

Al momento de realizar la inyección en la cabeza, se emplearán dos tubos, el inferior de inyección y el superior de retorno, para garantizar un relleno completo, sin burbujas de aire atrapadas.

³⁴ Ibid., p. 22.

Cuando se tengan previstas verificaciones de tensión, o retesados, el sistema de protección debe permitir el libre acceso al tirante.

Los elementos de la cabeza del anclaje (placa, cuñas y demás elementos) en el caso de los anclajes permanentes (tipos 3, 4, 7 y 8), se fabricarán en taller y las piezas de acero estarán idóneamente protegidas.³⁵

³⁵ Ibid., p. 22.

5 CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO

5.1 Tipo de investigación

En este estudio se realizará un análisis de los métodos utilizados para la protección contra la corrosión en la cabeza de anclajes permanentes y activos, a partir de la ejecución de una investigación documental que permitirá la comparación de diferentes fuentes de información y de fundamentos teóricos usados como respuesta a la problemática abarcada.

La presente investigación es de tipo documental, dado que está encaminada a la recolección de datos e información que permitan analizar y puntualizar sobre los errores cometidos en los sistemas de protección contra la corrosión en la cabeza de anclajes permanentes. Por esta razón se basó en una revisión crítica de bibliografía existente sobre métodos o procedimientos ejecutados para la implementación de estos sistemas. Todo esto se sustentó en un diseño bibliográfico el cual se basó en una revisión exhaustiva del material documental, proveniente de libros, revistas, manuales, tesis, artículos, folletos, entre otros. Esta revisión permitió identificar los factores que estarían afectando la integridad de las cabezas de los anclajes permanentes.

5.2 Diseño de la investigación

Para hacer una descripción de las bases metodológicas en las cuales se cimentó este estudio es necesario precisar desde un punto de vista científico el cual lo constituye el diseño de la investigación.

Respecto a este proceso, se muestra que uno de los aspectos fundamentales durante la ejecución de la investigación lo compone el diseño de la búsqueda, razón por la cual metodológicamente esta monografía se fundamenta en un diseño no experimental, de manera concreta en un diseño de tipo bibliográfico, motivo por el cual sus bases metodológicas, se sitúan en el conocimiento natural del problema para después ejecutar un análisis y producir resultados, este criterio está soportado por estudios del área metodológica.

5.3 Procedimiento

El procedimiento es una fase complementaria y mecánica, la cual puede ejecutarse en forma manual o computarizada. Se inició con la revisión de las fuentes bibliográficas relacionadas con la investigación, así como de otros estudios que se llevaron a cabo con anterioridad.

Luego de realizar la identificación y descripción del objeto de estudio elegido como foco para desarrollar esta investigación, se ubicaron y seleccionaron las fuentes de

información de tipo documental y bibliográficas, las cuales fueron consultadas y contextualizadas para así elaborar el marco teórico que fundamentó el estudio.

Después se continuó con el proceso de investigación con el objetivo de determinar y priorizar la información inherente al diseño bibliográfico, empleando técnicas como el fichaje, la cual hizo posible la recolección de datos a través de la consulta de libros, manuales, tesis, artículos y folletos con planteamientos relacionados con el tema de interés.

6 CAPITULO LLL: DESARROLLO DE LA MONOGRAFÍA

6.1 Tipos de corrosión en cabeza de anclaje, causas y mitigación

6.1.1 Corrosión por cloruros

La corrosión del acero de refuerzo presente dentro del concreto puede originarse debido a la presencia exclusiva de oxígeno y humedad en cercanías de los cables de tendido y a la existencia de cloruros libres en el medio circundante, lo cual se constituye como un desencadenante del proceso.

Estos cloruros pueden estar presentes desde el inicio de la mezcla o pueden ingresar posteriormente al interior de las lechadas por difusión desde el exterior, caso para el cual los riesgos por corrosión se aumentan significativamente.

En el caso específico de los anclajes permanentes en algunas ocasiones se observan “ventanas” de corrosión en la superficie superior externa del cabezal de anclaje. Esto debido a que se generan vacíos de lechada, los cuales terminan convirtiéndose en puntos de entrada de cloruros.

Algunas recomendaciones que se deben considerar para disminuir daños por este fenómeno de corrosión son:

- a) La permeabilidad del concreto es quizás el factor aislado más importante que incide en el proceso de corrosión dado que, para un recubrimiento determinado, es quien define el grado de penetración de agentes agresivos desde el ambiente. Razón por la cual dentro de lo posible se debe garantizar que el concreto tenga baja permeabilidad para lograr una alta resistividad. La permeabilidad del concreto está intrínsecamente relacionada con la relación agua/cemento la cual debe limitarse a 0.4.
- b) El agua empleada en la elaboración del concreto deberá tener un contenido máximo de cloruros tal que la suma de los cloruros presentes en los constituyentes de la mezcla, incluyendo los aditivos, no sobrepase las recomendaciones siguientes:
 - ❖ Tipo de exposición límite por peso de cemento (%)
 - ✓ Ambiente agresivo y expuesto a cloruro: 0.06
 - ✓ Ambiente agresivo y no expuesto a cloruro: 0.15
 - ✓ Construcción sobre el suelo y seca permanentemente: 1.50

6.1.2 Fisuración por corrosión bajo tensión estimulada por hidrógeno

Este tipo de corrosión, es un mecanismo de falla inducido ambientalmente, el cual en algunas ocasiones se retrasa y en la mayoría de los casos ocurre de forma instantánea, es decir, sin previo aviso. La HASCC, sucede cuando un fijador de acero endurecido se tensiona (carga) en un ambiente de servicio que produce hidrógeno químicamente, por ejemplo, cuando el zinc y el hierro se combinan en presencia de humedad. El potencial para la HASCC, tiene una relación estrecha con la dureza del acero. A mayor dureza del fijador, mayor es la susceptibilidad a fallas de fisuración por corrosión bajo tensión. Si se reduce o elimina alguno de estos factores (alta dureza del acero, corrosión o tensión), se disminuye por tanto el potencial general para esta clase de falla. Adicionalmente cabe destacar que este tipo de corrosión hace referencia a un potencial daño con efecto secundario del proceso de fabricación del fijador de acero, y no está relacionado con la corrosión en el lugar del proyecto.

Para neutralizar o disminuir la fragilización por hidrógeno se puede lograr ejecutando un proceso adecuado durante el decapado, así mismo a través de limpieza y revestimiento (particularmente, al hornear los fijadores después de colocar el recubrimiento galvánico).

6.1.3 Agrietamiento por corrosión bajo tensión

El agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC) es el agrietamiento inducido por la influencia combinada del estrés por tracción y un ambiente corrosivo. Las tensiones de tracción requeridas pueden ser tensiones directas o tensiones residuales.

La corrosión bajo tensión (stress corrosion cracking- SCC), ocurre debido a que un anclaje está generalmente sometido a esfuerzos relativamente altos, incluso puede llegar a darse si este se encuentra en un ambiente neutro. El problema se puede vislumbrar por la formación de zonas frágiles en el anclaje, a lo que prosigue una rotura repentina.

Esta además se puede generar por llenado inadecuado de la región interna de la cabeza del anclaje con bitúmenes; por alambres desnudos expuestos y sujetos a ciclos de humectación y secado o por estancamiento de agua subterránea de bajo pH.

Para mitigar este problema se pueden utilizar revestimientos epóxicos tipo amidoamina dado que presentan una excelente resistencia química y funcionan muy bien en ambientes altamente corrosivos. Adicionalmente una medida efectiva sería rellenar el anclaje en toda su longitud.

6.1.4 Corrosión por picadura o pitting

Este tipo de corrosión se da como pequeños agujeros, los cuales presentan forma irregular y usualmente se conectan entre sí.

Generalmente tanto las placas de apoyo como los cabezales de anclaje muestran este tipo de corrosión, pero es más prominente en las placas de soporte. Esto se debe a que durante su elaboración pudieron quedar huecos resultantes de su proceso de moldeo o por transformaciones metalúrgicas en el metal base por acción de procesos de transformación y conformado.

Otra razón por la que puede aparecer pitting es por la formación de pequeñas celdas electrolíticas por contacto del metal o de uniones de metales diferentes. Con soluciones de concentración variable.

Para proteger los componentes de la cabeza de anclaje contra este tipo de corrosión se pueden usar inhibidores de corrosión en una cantidad suficiente de tal manera que se logre protección contra las picaduras. Se debe tener presente que un nivel muy bajo de ellos puede agravar la formación de picaduras formando ánodos localizados.

6.1.5 Corrosión galvanizada

Todos los metales tienen un potencial eléctrico relativo entre ellos, y se clasifican en las series galvánicas de metales y aleaciones. Cuando metales de diferente potencial se ponen en contacto en presencia de un electrolito (humedad), el metal con mayor potencial negativo se convierte en el ánodo y corroe, mientras que el otro se convierte en el cátodo y está protegido galvánicamente.

Esto se evidencia en nuestro caso de estudio debido a que las cabezas de anclaje generalmente presentan corrosión en las superficies expuestas, sin embargo, en las superficies que han estado en contacto con las placas de los cojinetes se muestra mayor corrosión. Esto se puede dar como resultado del contacto entre dos metales diferentes; uno correspondiente al de la placa y otro al del cabezal.

Los efectos de este tipo de corrosión se pueden mitigar teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Usar metales similares que estén cerca en la serie de esfuerzos electromotrices.
- b) Separar metales disímiles con arandelas plásticas, empaquetaduras o pintura con baja conductividad eléctrica. Los materiales que comúnmente se utilizan para estas aplicaciones son:
 - Polietileno de alta densidad (HDPE)
 - Politetrafluoroetileno (PTFE)

- Policarbonatos
- Neopreno / cloropreno
- Compuestos para galvanización en frío
- Recubrimientos o pintura bituminosos

Es de vital importancia garantizar que los materiales sean compatibles con otros componentes del anclaje en el ambiente de servicio.

c) Seleccionar materiales de tal manera que el fijador actúe como cátodo, el componente más noble o protegido.

d) Añadir un drenaje o agujeros de desagüe para evitar que el electrolito quede atrapado.

6.1.6 Corrosión por ataque químico directo

Este tipo de corrosión se da cuando el material base es soluble en un medio corrosivo. Una forma de mitigar estos efectos es seleccionar un anclaje que no sea susceptible al ataque por el químico corrosivo.

Cuando no sea posible o económico elegir un metal base compatible con el medio corrosivo, otra posible solución es recubrirlo con un material que sea resistente al medio corrosivo. Esto puede incluir recubrimientos metálicos, tales como zinc, o recubrimientos orgánicos, tales como poliepóxidos o fluorocarburos.

6.2 Sistemas de protección contra la corrosión para cabezas de anclajes permanentes.

Todos los elementos de acero de un anclaje de tipo permanente deberán cumplir alguno de los siguientes requisitos:

- a) Dos (2) barreras anticorrosión, a fin de que si una de ellas se daña durante la instalación la otra permanezca intacta.
- b) Una (1) sola barrera anticorrosión, cuya integridad deberá ser demostrada bien mediante ensayo del sistema de ejecución del anclaje o bien mediante comprobación de cada anclaje después de su instalación.

6.2.1 Protección para las caperuzas

La sección más importante de un anclaje que necesita protección adecuada contra la corrosión es la porción expuesta al aire / oxígeno. Esta se denomina usualmente como la "cabeza de anclaje", que generalmente consiste en una placa de soporte de acero, una tuerca hexagonal y una arandela para un sistema de barra, o una placa de cuña y cuñas para un sistema de filamento.

Como se había mencionado anteriormente la cabeza del anclaje por encontrarse en la parte exterior de éste, requiere de un cuidado especial, razón por la cual se debe

proteger con una caperuza metálica revestida o galvanizada, con un espesor de pared de mínimo 3mm, o una caperuza rígida de plástico, de al menos 5mm de espesor de pared, la cual debe ir fijada a la placa de apoyo. Las cubiertas hechas de acero se usan generalmente en áreas de impacto expuestas.

Hay que destacar que la zona interna de estas caperuzas debe rellenarse ya sea con una lechada anticorrosiva como era común hacerlo anteriormente o con un producto viscoso o grasa contra la corrosión y junta de estanqueidad como se hace en la actualidad. Estos productos deben cumplir las especificaciones de la tabla 5. Mientras tanto la parte exterior debe estar convenientemente protegida, esta protección puede ser mediante galvanizado en caliente o por aplicación de varias capas de pintura de revestimiento.

Por otra parte, se tienen las lechadas que poseen una ventaja, dado que el cemento crea un ambiente con pH alto que protege el acero formando una capa de óxido hidroferroso, no obstante, si no se hace de manera correcta la fundida, se pueden crear ventanas por las cuales fácilmente ingresan cloruros que favorecen la corrosión en esta zona de los anclajes.

Cuando la lechada de cemento se elige como sistema de protección, será conveniente que la relación agua/cemento no exceda un valor de cero coma cuatro (0,4), para minimizar el agua libre. Además, deberá contemplarse la agresividad del medio, a la hora de seleccionar el tipo de cemento para las lechadas en contacto con el terreno circundante. También es posible usar aditivos para mejorar la manejabilidad, reducir el agua libre o la retracción y para aumentar el desarrollo de las resistencias.

6.2.2 Protección para la tuerca hexagonal y las placas

Para la tuerca hexagonal y las placas, el sistema de protección que mejor responde es el galvanizado, incluso si la barra está recubierta de epoxi. Hay que destacar que, si los componentes galvanizados se rayan durante los traslados, tienen menor probabilidad de sufrir problemas de corrosión que los componentes recubiertos con epoxi rayados.

6.2.3 Protección para dispositivos de estanqueidad

Las juntas mecánicas deberán estar selladas con juntas tóricas, juntas de estanqueidad o manguitos termo-retráctiles.

La junta, o cualquier otro dispositivo equivalente deberá prevenir cualquier fuga del relleno o cualquier penetración de agua desde el exterior, sea cual sea el movimiento relativo entre los elementos considerados. Así mismo deberán estar protegidos contra la corrosión. Para este fin se emplearán recubrimientos no metálicos tales como masillas y selladores los cuales poseen buena elasticidad y

adhesión, resistencia a la temperatura y productos químicos, (aceites, carburantes, etc.), buena estanqueidad y por último son repintables.

6.2.4 Protección para tornillos y arandelas

Los tornillos y arandelas al igual que los demás componentes de la cabeza de un anclaje permanente son susceptibles a la corrosión y para poder evitar daños por este fenómeno es necesario someterle a un galvanizado en caliente. Es muy importante antes de sacar las piezas del baño de galvanizado eliminar de su superficie una fina capa de óxidos de zinc que se forman y que también contiene restos de sales, con el objetivo de que no se adhieran a la superficie de las piezas y produzcan imperfecciones en el recubrimiento.

Uno de los criterios fundamentales para establecer la calidad de estos recubrimientos es su espesor, el cual se expresa en mm o g/m².

A continuación, se indican los valores mínimos admisibles en función del espesor del material base:

Tabla 6. Espesor de los recubrimientos

Tamaño de las piezas	Medida (mm)
Piezas pequeñas	55mm
Piezas de fundición	70mm
Aceros de espesor 0 a 1 mm	50mm
Aceros de espesor 1 a 3 mm	55mm
Aceros de espesor 3 a 6 mm	70mm
Aceros > 6mm	85mm

Fuente: Corrosión y protección. Barcelona: Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, 2003.

6.2.5 Protección para cuñas

Las cuñas generalmente se fabrican con acero al carbono, razón por la cual, presentan gran tendencia a la corrosión. Para evitar daños de este tipo en las piezas, se les aplica un recubrimiento de zinc galvanizado.

6.3 Selección del sistema de recubrimiento

En primera instancia se deben identificar las características del entorno en el que se encontrará el anclaje permanente y por ende el sistema de protección anticorrosivo (recubrimiento). Una vez que se haya determinado el tipo de ambiente al que va a estar expuesto, se puede dar inicio al proceso de selección del o los sistemas de recubrimientos. Es fundamental que el recubrimiento seleccionado tenga un historial conocido y a la vez exitoso en este tipo de entornos.

A continuación, se describen los aspectos fundamentales que deben ser tenidos en cuenta para este proceso de selección:

6.3.1 Identificar los entornos de servicio o exposición

Se describirán los ambientes que tienen el mayor impacto en los revestimientos y el rendimiento de los mismos. Probablemente el paso que reviste mayor importancia en la selección del recubrimiento es valorar las condiciones bajo las cuales el recubrimiento debe funcionar. Es fundamental considerar todas las condiciones que puedan existir incluso factores pequeños y aparentemente irrelevantes que pueden afectar el rendimiento del sistema de recubrimiento, dado que, en casi todas las situaciones, una combinación de dos o más ambientes nocivos de servicio actúan juntos para crear un entorno hostil.

a) Temperaturas extremas.

Casi el total de los sistemas de revestimiento aplicados están expuestos a variaciones de temperatura en sus entornos y a pesar de que estas no sean extremas pueden repercutir en el rendimiento del recubrimiento.

No obstante, hay que señalar que temperaturas demasiado bajas o demasiado altas pueden ocasionar fragilidad, disminuir la resistencia al impacto, contracción o pérdida de adhesión y además pueden modificar el carácter protector contra la corrosión del recubrimiento. Por ejemplo, temperaturas muy elevadas aumentan la corrosividad del medio ambiente, es decir, muchos ácidos se tornan cada vez más agresivos con los aumentos de temperatura.

Por otra parte, la temperatura también influye en los mecanismos de curado, estos frecuentemente dependen de esta propiedad. Con alto calor, el proceso de curado puede ocurrir muy rápido o, por el contrario, en temperaturas frías, el curado puede no ocurrir en absoluto.

a) Humedad alta

Un ambiente que usualmente está cargado de humedad a menudo se considera en estado de inmersión constante. Para poder contrarrestar estos efectos es necesario usar recubrimientos apropiados para tales fines, lo que se traduce en recubrimientos de baja permeabilidad al vapor de humedad (MVP) y bajas tasas de absorción de agua.

A nivel industrial se ha observado que cuanto menor es la tasa de transferencia de vapor de humedad, mejor protección contra la corrosión proporciona el recubrimiento.

a) Oxido-reducción

La mayoría de los recubrimientos están predispuestos a la oxidación antes que a la reducción. La oxidación puede ocasionar fragilidad de la película de recubrimiento y pérdida de resistencia cohesiva. Para evitar estos problemas se pueden usar recubrimientos epóxicos y poliuretanos.

b) pH extremo

Los pHs extremos, tales como ambientes ácidos o alcalinos fuertes, pueden tener un efecto dramático al momento de seleccionar el recubrimiento. La película de recubrimiento debe ser fundamentalmente inerte para impedir una reacción con el medio ambiente o la penetración de la solución en la película de recubrimiento. La resistencia a los álcalis es de vital importancia para un revestimiento de imprimación. Las reacciones químicas que tienen lugar en el proceso de corrosión generan productos alcalinos fuertes que se depositan en el sustrato. Posteriormente, cualquier imprimación que no sea resistente a estos subproductos tendrá alta probabilidad de fallar debido al desprendimiento catódico.

Como resultado de este tipo de falla, se pueden evidenciar cortes adicionales del recubrimiento y la propagación de la corrosión debajo de la película. Materiales como el hormigón usualmente presentan una elevada alcalinidad; por lo tanto, un sistema de recubrimiento elegido para un sustrato de concreto también debe exhibir una buena resistencia alcalina.

Los recubrimientos más recomendados para pH extremo son vinilos, cauchos clorados y modificaciones epoxídicas. No obstante, los revestimientos alquídicos o que contienen aceite tienden a tener una resistencia pobre a la alcalinidad y no deben usarse en dicho entorno.

c) Ciclos térmicos

Los ciclos térmicos generan por naturaleza las fuerzas de expansión y contracción. Para que un sistema de recubrimiento suministre la máxima protección al sustrato, debe ser capaz de expandirse y contraerse con este. Generalmente, el ciclo térmico está asociado con la meteorización atmosférica normal. Un recubrimiento debe resistir las tensiones ocasionadas por estos ciclos térmicos sin perder propiedades como la adherencia y agrietamiento.

Algunos recubrimientos que responden de manera excepcional a este fenómeno y que por ende son resistentes a las fluctuaciones de temperatura son los acrílicos, vinilos y revestimientos inorgánicos de zinc.

a) Exposición ultravioleta

La resistencia a la radiación ultravioleta (UV) es de gran relevancia, debido a que, la luz del sol puede degradar apresuradamente un recubrimiento, lo cual, resultará en la pérdida completa de la integridad de la película, lo que provocará tizón, pérdida de brillo, decoloración y fragilidad en un período de tiempo bastante corto.

Esta degradación puede acompañarse de una apariencia estéticamente inaceptable para el revestimiento. Por ejemplo, los recubrimientos epóxicos de dos componentes no funcionan muy bien para tales fines, dado que, se endurecen con bastante rapidez bajo exposición a la luz ultravioleta, pero las formulaciones de poliuretanos alifáticos acrílicos permanecen estables ante la exposición a la luz ultravioleta.

6.4 Requerimientos de los sistemas de protección contra la corrosión

Los sistemas de protección deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Garantizar que la vida útil del anclaje con respecto a la falla por la corrosión es como mínimo igual que la vida útil prevista para el sistema de anclajes.
- No deben generar impactos adversos al medio ambiente o disminuir la resistencia del anclaje.
- Incluir materiales que sean químicamente estables y no reactivos con materiales adyacentes.
- Ser lo suficientemente resistentes para soportar algunos daños ocasionados durante los procesos de transporte, almacenado e instalación.

6.5 Parámetros a tener en cuenta antes de la aplicación del recubrimiento

El parámetro más importante que se debe tener en cuenta antes de aplicar cualquier recubrimiento es la preparación de la superficie, puesto que, el desempeño de cualquier película obedece en un 90% a este factor.

La selección del recubrimiento está influenciada por el grado de preparación de la superficie que se puede lograr, así como por el método de aplicación del recubrimiento que se puede permitir. La preparación de la superficie generalmente está determinada por la severidad del entorno de servicio (es decir, inmersión, intemperie normal, interior seco), el tipo de sustrato y el sistema de recubrimiento. Como regla general, cuanto más agresivo sea el entorno que rodea el elemento a recubrir, mayor será el grado de limpieza requerido. La limpieza tiene una influencia directa sobre la adhesión y la vida útil a largo plazo.

Adicionalmente se deben tener en cuenta otros parámetros tales como:

- Costos
- Propiedades protectoras contra la corrosión

- Requisitos de salud, seguridad y medio ambiente.
- Propiedades relacionadas con las condiciones de aplicación, equipos y personal.
- Disponibilidad y economía de los materiales de recubrimiento.

De igual manera, es fundamental tomar en consideración que todos los materiales de recubrimiento y solventes deben almacenarse en el recipiente original con la etiqueta y las instrucciones del fabricante. Cada producto debe tener un número de lote que muestre el año y el mes de fabricación y que proporcione la trazabilidad completa de la producción. La vida útil se incluirá en la hoja de datos técnicos.

6.6 Norma SSPC y NTC para preparación de superficies y aplicación de recubrimientos

Para conocer la manera correcta como se prepara una superficie y adicionalmente la forma en que debe aplicarse el recubrimiento hay que ceñirse a lo especificado en las siguientes normas:

- NTC. (18 de 09 de 1996). NTC 3951. PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. SISTEMAS DE PINTURAS PROTECTORAS. VARIABLES DE EVALUACIÓN EN CAMPO. Norma Técnica Colombiana.
- SSPC. (s.f.). Steel Structures Painting Council. Surface Preparation Specifications.

6.7 Inspección y mantenimiento de cabezas de anclajes

6.7.1 El mantenimiento de los anclajes

El mantenimiento de los anclajes comprende tres etapas; inspección, investigación de integridad y contramedidas. Estas son fundamentales para garantizar el rendimiento de los anclajes en el nivel solicitado durante su vida útil y además para prolongar su tiempo de servicio cuanto sea posible.

Para anclajes recién instalados, excluyendo los anclajes temporales, todos los datos de diseño y los registros de instalación se compilarán para crear los datos de referencia para la planificación y ejecución de la inspección y el mantenimiento.

Antes de ejecutar la inspección y el mantenimiento de los anclajes, es necesario realizar una encuesta preliminar que incluye la recopilación y el examen de los datos de referencia y la revisión de las condiciones de la periferia.

La frecuencia y el alcance de la inspección e investigación de integridad de los anclajes se determinan en función de las condiciones específicas de la ubicación del anclaje, incluido el propósito para el que fueron construidos, su importancia y las condiciones del lugar.

Las inspecciones se realizarán regular y sistemáticamente a una frecuencia predeterminada.

Las pautas sobre la frecuencia de la inspección y la investigación de integridad para los anclajes se proporcionan en la Tabla 7.

Tabla 7. Directriz sobre frecuencia de inspección e investigación de integridad para anclas

Inspecciones periódicas	Anualmente para los tres (3) siguientes a la instalación.	Después de los tres (3) años: una vez cada 3-5 años En anclajes antiguos es extremadamente importante hacer la inspección cada año.
Investigación de integridad	Una vez durante los cinco primeros años de la instalación. Después de este tiempo muy importante realizarla cada 2-3 años.	

Fuente: Manual de inspección y mantenimiento de anclajes al suelo. Public Works Research Institute Japan Anchor Association, 2015.

Inicialmente todos los anclajes deben ser inspeccionados y las investigaciones de integridad se les realizarán a aquellos anclajes en los que se observe algún tipo de problema por corrosión. No obstante, al momento de realizar la inspección y la investigación de integridad, a veces es necesario seleccionar aleatoriamente un número representativo de anclajes para llevar a cabo estos procedimientos.

Las pautas sobre el número de anclajes que serán seleccionados para la inspección y la investigación de integridad se proporcionan en la Tabla 8.

Los anclajes elegidos para inspección e investigación de integridad deben seleccionarse teniendo en cuenta su ubicación y reconociendo el estado general de los anclajes, la estructura de soporte del ancla y las estructuras o pendientes ancladas.

Tabla 8. Guía para el número de anclajes seleccionadas para inspección e investigación de integridad

Inspección / investigación	Guía de número

Inspección inicial		Todos los anclajes
Inspecciones periódicas (Inspección de proximidad)	Visual	Todos los anclajes
	Inspección de proximidad (prueba de martilleo)	10% de los anclajes o más de 3, el que se mayor.
Investigación de integridad	Investigación detalla del anclaje.	20% de los anclajes o más de 5, el que se mayor.
	Prueba de despegue.	10% de los anclajes o más de 3, el que se mayor
	Investigación debajo de cabeza de anclaje.	5% de los anclajes o más de 3, el que se mayor
	Prueba de confirmación de rendimiento del anclaje.	5% de los anclajes o más de 3, el que se mayor
	Monitoreo de carga de tensión residual. (usando una celda de carga).	10% de los anclajes o más de 3, el que se mayor.

Fuente: Manual de inspección y mantenimiento de anclajes al suelo. Public Works Research Institute Japan Anchor Association, 2015.

6.7.2 Inspecciones periódicas

Las inspecciones periódicas serán inspecciones visuales realizadas a pie cada seis meses a un año para todos los anclajes, estas se llevan a cabo usualmente mediante inspección visual y si el acceso permite, una inspección de proximidad, la cual, incluirá una prueba de martilleo y mediciones. En caso de que se pueda acceder al cabezal de anclaje, también se tomarán medidas y fotografías y se realizará una prueba de martilleo.

En caso de que sea probable que exista un problema de integridad del anclaje, la necesidad de una contramedida inmediata debe evaluarse teniendo en cuenta la estabilidad, la importancia de las estructuras o pendientes ancladas y la posibilidad de daños a terceros. Se debe evaluar la necesidad de una investigación de integridad, reparación o trabajo de refuerzo, así mismo, se mantendrán registros de los resultados de las inspecciones periódicas.

En las tablas 7 y 8 se proporcionan pautas sobre la frecuencia y el número de anclajes que se seleccionarán para la inspección periódica.

Los elementos a verificar durante una inspección periódica se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Elementos y procedimientos en una inspección periódica

Elemento		Contenido principal	Procedimiento de investigación	Necesidad	Observación
Condiciones de la cabeza de anclaje	Cubierta de concreto	Levantamiento/elevación desconchado.	Inspección visual, registros fotográficos del grado de elevación/desconchado, profundidad de desconchado y prueba de martilleo.	○	Confirmación de levantamiento parcial o completo
		Daño, fractura, caída	Inspección visual, registros fotográficos.	⊙	
		Deterioro, agrietamiento.	Inspección visual, registros fotográficos, medición del ancho de grieta.	△	Confirmación de depósitos de cal entre la cubierta de concreto y la estructura de soporte (o placa).
		Depósitos de cal.	Inspección visual, registros fotográficos.	○	
		Presencia de agua subterránea.	Inspección visual, registros fotográficos.	△	Confirmación de fugas de agua subterránea del espacio entre la cubierta del concreto y la estructura de soporte (o placa).
	Caperuzas del anclaje.	Daño, movimiento, pérdida de caperuza del anclaje.	Inspección visual, registros fotográficos.	⊙	
		Daño de materiales.	Inspección visual, registros fotográficos y prueba de martilleo.	△	

Elemento		Contenido principal	Procedimiento de investigación	Necesidad	Observación
		Métodos y condiciones de configuración.	Inspección visual, registros fotográficos.	△	Estructura fijada firmemente a placa de apoyo, existencia de pernos.
		Daño de sellos o empaques.	Inspección visual, registros fotográficos.	△	
		Presencia de agua subterránea.	Inspección visual, registros fotográficos.	△	
	Componente inhibidor de la corrosión.	Fugas de componente inhibidor de la corrosión.	Inspección visual, registros fotográficos.	○	
	Placa de apoyo.	Levantamiento, elevación.	Inspección visual, registros fotográficos y prueba de martilleo.	○	Extensión: parcial o total.
		Presencia de agua subterránea	Inspección visual, registros fotográficos.	△	
		Apertura o deslizamiento de juntas.	Inspección visual, registro fotográfico, topografía, bocetos.	○	

Notas: ⊙ Inspección esencial
 ○ Inspeccione tanto como sea posible
 △ Inspeccionar si es posible

Fuente: Manual de inspección y mantenimiento de anclajes al suelo. Public Works Research Institute Japan Anchor Association, 2015.

6.7.3 Juzgar la necesidad de una investigación de integridad

La decisión de llevar a cabo una investigación de integridad se basa en los resultados de la inspección, no obstante, algunas consideraciones pueden influir en la decisión, como el grado de importancia y el tamaño de las estructuras o pendientes en cuestión, las condiciones del entorno (edificios e instalaciones), la vida útil de los anclajes y estado general del sitio.

En la Tabla 10 se provee información para determinar la necesidad de una investigación de integridad individual basada en los resultados de la inspección y en la Tabla 11 se proporciona orientación para determinar la necesidad de una investigación de integridad del anclaje basada en el número y la gravedad de los problemas identificados en la cabeza de un anclaje.

Tabla 10. Orientación para determinar la necesidad de una investigación de integridad individual basada en resultados de inspección

Especificaciones del anclaje y la estructura	Método de anclaje	Contenido principal	Evaluación
Condiciones de la cabeza de anclaje	Cubierta de concreto.	Falla y pérdida parcial.	II
		Grietas (>1mm de ancho).	II
		Fugas de cal de la cubierta de concreto.	III
		Levantamiento/elevación de la cubierta de concreto.	I
		Espacio libre detrás de la cubierta de concreto.	III
		Fugas de agua subterránea de la parte trasera de la cubierta de concreto.	II
	Caperuza del anclaje	Daño en la caperuza del anclaje	II
		Daño o corrosión del material de la caperuza del anclaje.	II
		Daño o corrosión en los pernos que aseguran la caperuza del anclaje.	III
		Fuga de aceite de protección contra la corrosión de la caperuza del anclaje.	III
	Placa de apoyo	Levantamiento/elevación de la placa de apoyo.	II
		Placa de rodamiento libre para girar a mano	I
		Fugas de agua subterránea por detrás de la placa de apoyo.	II
		Suciedad alrededor de la placa de apoyo.	III

Notas:

I Hay un problema con la integridad del anclaje: se requiere investigación

II Hay una alta probabilidad de un problema de integridad del anclaje: se recomienda investigación

III Hay una influencia en la integridad del anclaje: se debe considerar la investigación

La evaluación de la necesidad de la investigación de integridad del ancla se puede elevar de III a II o de II a I dependiendo de condiciones locales específicas, como la ubicación del anclaje, el propósito y la importancia.

Fuente: Manual de inspección y mantenimiento de anclajes al suelo. Public Works Research Institute Japan Anchor Association, 2015.

Tabla 11. Orientación para determinar la necesidad de una investigación de integridad del anclaje

Resultado de la evaluación		Juicio	Acciones
Evaluación	Número de problemas		
I	Uno o más	Una investigación detallada es necesaria porque hay alta posibilidad de que existan problemas en el anclaje.	Realizar una investigación de integridad
II	Dos o más		
III	Tres o más		

Fuente: Manual de inspección y mantenimiento de anclajes al suelo. Public Works Research Institute Japan Anchor Association, 2015.

Si la inspección indica que hay una posibilidad muy alta de que se presente un problema de integridad en el anclaje y es probable que ocurra un daño de terceros, se debe tomar una contramedida de emergencia antes de la implementación de la investigación de integridad. La investigación de integridad debe ejecutarse después de que se haya mitigado el riesgo de daños a terceros.

7 CONCLUSIONES

- La mayoría de los sistemas de protección contra la corrosión en cabezas de anclajes permanentes, fallan principalmente por aplicar de manera incorrecta tanto las lechadas anticorrosivas como las películas del recubrimiento.
- La cabeza de los anclajes permanentes por encontrarse en la parte exterior de estos, requieren de un cuidado especial, razón por la cual, siempre deben protegerse bien con una caperuza metálica o con una caperuza revestida o galvanizada.
- La protección de la parte externa de las caperuzas puede llevarse a cabo con un galvanizado en caliente o por aplicación de varias capas de pintura de revestimiento. El espesor de su pared debe ser como mínimo de 3 mm.
- La zona interna de las caperuzas debe rellenarse ya sea con una lechada anticorrosiva o con un producto viscoso o grasa contra la corrosión y además deben tener junta de estanqueidad.
- Absolutamente todos los componentes de la cabeza de los anclajes permanentes y activos deben estar protegidos ya sea por una o dos barreras anticorrosión. Si se elige una sola barrera, su integridad debe ser demostrada mediante ensayo del sistema de ejecución del anclaje o bien mediante comprobación de cada anclaje después de su instalación.
- Las inspecciones periódicas son muy importantes, ya que, permiten detectar problemas de integridad en el anclaje, y con base en ello, establecer contramedidas inmediatas que permitan tomar decisiones acerca de si se debe reparar la estructura o ejecutar algún trabajo de refuerzo con el objetivo de extender la vida útil de estos anclajes tanto como sea posible.
- Al momento de seleccionar un sistema de protección contra la corrosión para cabezas de anclajes permanentes, es de vital importancia tener en cuenta factores tales como las temperaturas y pHs extremos, las tasas de humedad, los procesos de oxido-reducción, los ciclos térmicos y la exposición a la radiación UV, considerando que, estos afectan directamente su rendimiento.

8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo las inspecciones periódicas a las cabezas de anclaje y el anclaje en general, cada año, durante los tres años siguientes a la instalación, después de cumplido este tiempo, deberán realizarse una vez cada 3 o 5 años dependiendo de las condiciones específicas del lugar donde se encuentre el anclaje, el propósito para el que éste fue construido y su importancia.
- Para anclajes antiguos es indispensable hacer las inspecciones periódicas cada año.
- La investigación de integridad deberá ejecutarse una vez durante los primeros cinco años de la instalación y después de este tiempo cada dos o tres años.
- Se recomienda implementar además de las inspecciones ya mencionadas, una Inspección Basada en Riesgo (RBI) y una Evaluación de Integridad con metodología similar a la API-ASME RP 579 como práctica complementaria para garantizar mayor tiempo de servicio de los anclajes permanentes y activos.

